

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

5468/6JP0/

# 循環型エレベータによるビル内大量輸送システムの基礎検討

論文

正員 藤野 篤 哉 (日立製作所)  
正員 飛田 敏 光 (日立製作所)  
非会員 中 川 久美子 (清水建設)

## Basic Study on Mass Transportation Systems in Buildings by Means of Multiple-cage Elevators

Atsuya Fujino, Member, Toshimitsu Tobita, Member (Hitachi, Ltd.) Kumiko Nakagawa, Non-Member (Shimizu Corporation)

Abstract: With a view point of space factor in large-scale buildings, this paper first overviews several mass transportation systems and compares their characteristics. Then a loop-type independent-driven multiple-cage elevator system and its high-efficient control method are proposed. The multiple-cage elevator system can reduce its shaft space as half as that of normal elevator system. Computer simulations show the proposed control method can improve waiting time and round trip time, and restrain needless stops. The loop-type multiple-cage elevator system may be feasible for the third transportation system which fills the gap between elevators and escalators in the near future.

キーワード: エレベータ, マルチカー, 大量輸送, 省スペース, 運行制御

### 1. はじめに 2. ビル内大量輸送システムの特徴

ビル内の垂直方向の主要な輸送機関として、エレベータは既に1世紀以上にわたって利用されている。この間にエレベータは、高速・高精度・高効率化され<sup>(1)(2)</sup>、ビルの大規模化に貢献してきた。

しかし、1つのシャフトに1台のエレベータという基本的な枠組み変わっていないため、ビルをより高層化しようとする必要エレベータ台数が増加し、ビルの有効利用面積が期待通りに増加しない問題が指摘されている<sup>(3)</sup>。

これに対し省スペースで大量輸送を可能とするビル内輸送システムとして、従来のエレベータ、エスカレータを含めて様々な提案がなされている。例えば、エレベータの設置方法では地上から上方のスカイロビー階までシャトルエレベータでピストン輸送しローカルエレベータに乗り換えるスカイロビー方式<sup>(4)</sup>、エレベータの構造では乗りかごを上下2階建てとしたダブルデッキエレベータ方式<sup>(5)</sup>があり、また駆動方式では縦型リニアドライブの応用によるロープレスエレベータの研究も盛んである<sup>(6)~(9)</sup>。

本論文では、大量輸送の実現、ビル内の有効利用面積の向上という観点から、2章でこれらのビル内輸送システムを概観し、その特性を比較する。次にその中で、まだ実用化されていない循環型で独立駆動のマルチカー方式昇降機システム(以下循環型エレベータとする)を取り上げ、その輸送能力を推定し、従来のエレベータの2倍以上の輸送能力を実現するために必要な諸元を提示する。4章では、輸送能力とともに実用化のキーポイントとなる運行制御について、マルチカーシステムに特有の閉そく停止状態を抑制し、待ち時間、乗車時間を改善する高効率な制御方法を提案し、シミュレーションによる検討結果をまとめる。

#### 1. ビル内輸送システムの比較

ビル内の輸送システムに対する要求事項としては、主に退勤/昼食時といったピーク時間帯の輸送能力の充足と、ピーク以外の時間帯における待ち時間や乗車時間、かご内混雑度といったサービス性能に関する高効率で快適な運行の実現があり、これらの条件を満たしつつ昇降路の占める面積を最小化する必要がある。省スペース大量輸送のビル内輸送システムとしては、エスカレータ、ダブル/トリプルデッキエレベータ、連結型マルチカー等様々なアイデアが提案されている<sup>(7)</sup>。これらの主なものを表1に示す。

このような目的のビル内輸送システムは大きく分けて、(a)大量輸送が可能で待ち時間は少ないが、乗ってから目的階までの到達時間が長いエスカレータ方式、(b)ある程度の大量輸送は可能であるが、目的階までの到達時間が長い複数かご連結型のマルチカー、(c)個々の乗りかごが独立して動くので階間需要にも対応可能で、到達時間も通常のエレベータに近い乗りかご独立型マルチカー、(d)大深度地下利用やスカイロビー等2階床間の往復には通常のエレベータ並の乗車時間とマルチカーシステム並の輸送能力を発揮するダブルデッキエレベータやつるべ式エレベータ等のかご位置拘束型のエレベータ、および(e)通常エレベータの5種類に分類できる。

これらの輸送能力やサービス性能は、サービスする交通流や、設備の使用法、機器及び運行制御方法の性能により大きく変化する。そこで、これらを定性的に比較すると各システムの待ち時間等には表1に示す傾向がある。

エスカレータや乗りかご連結型のマルチカーは、各乗りかご(エスカレータの場合はステップ)間の動きは拘束され

表1 ビル内輸送システムの比較  
Table 1. Comparison of mass transportation systems in a building

分類	エスカレータ	複数かご連結型 マルチカー	乗りかご独立駆動型 マルチカー		かご位置拘束型 エレベータ	通常エレベータ
			循環型 エレベータ	ロープレス マルチカー		
模式図						
待ち時間	短い	長い	長い	長い	長い	長い
乗車時間	長い	長い	長い	長い	長い	短い
動きの 拘束状況	拘束	拘束	拘束	拘束	拘束	自由
適した 交通流	定常的	定常的	定常的	定常的	定常的	ランダム

るが、乗り込みや移動は連続的または連続に近い状態になり、待ち時間は短く輸送能力は大きくなる。その反面、後続の乗りかご(ステップ)は先行する乗りかごの動きに拘束されるので乗車時間は長くなる。この動きは、鉄道、特に区間内に多数の普通列車が運行するJR山手線の輸送に対応させることができる。

逆に通常のエレベータは、各々が独立に動き、到着・移動が間欠的となる。従って、間欠的に到着するため待ち時間は長くなるが、先行する他の乗りかごの動きに拘束されないで乗車時間は短くなる。これは、専用の走行車線を持つ乗合のタクシーの動きと見なすことができる。

大規模ビルにおける出勤時間帯のように、大量の乗客に対する輸送能力を確保するには、できるだけ連続的に輸送することが望ましく、タクシー型の間欠的な移動となる通常エレベータの輸送能力は低くなる。

以上の検討結果から、動きが拘束されるエスカレータ等は、定常的に発生する交通量の大きな場合に適し、動きが拘束されない通常のエレベータは、ランダムに発生するさほど交通量の多くない場合に適している。

乗りかごが独立駆動されるマルチカーシステムは、この中間的な性質を持つといえる。本論文では、この従来のエレベータ・エスカレータにない性質を持つと考えられる独立駆動型のマルチカーシステムについて検討する。

マルチカーシステムは、将来の高層ビルにおける輸送機関として大きな期待を集めているが、現在まだ実現されていないものである。このマルチカーシステムを今後開発するためには、既存のエレベータ、エスカレータにはない利点が必要であり、エレベータを大きく上回る輸送能力を発揮できるかが1つのポイントとなる。以下の検討では、大量輸送を実現するための、マルチカーシステムに求められる条件を明らかにする。

## 2.2 マルチカーシステムにおける追い越しの必要性

乗りかご独立型のマルチカーシステムは、追い越しができない循環型エレベータと追い越し可能なロープレスマルチカーに分類できる。以下、大量輸送の観点から追い越しの必要性について検討する。

マルチカーにおいて先行かごの追い越しが必要となる回数の上限は次のように計算することができる。

追い越しが発生するのは、先行する乗りかごがある階に停止しているときに、その階に停止しない後続の乗りかごが追い付く場合である。従って、乗りかごがどこかの階に停止しない確率  $P$  を用いて追い越し発生回数の上限  $E_{max}$  を求めることができる。

サービス階床  $n$  階、出発基準階からの乗車人数を定員の  $r$  人とし、乗客の目的階が基準階以外の  $(n-1)$  階に均等に分布すると仮定する。この時、乗車人数  $r$  人の乗りかごがある特定の階に停止しない確率  $P$  は、すべての乗客の目的階がその特定階以外の場合であるから、

$$P = \left(1 - \frac{1}{n-1}\right)^r = \left(\frac{n-2}{n-1}\right)^r \quad (1)$$

である。その乗りかごが下端から上端まで行く間に追い越しが発生する回数の期待値  $E$  は、先行かごと後続かごの間隔が停止中に追い付く接近した状況において、先行かごが端階以外のある階に停止し、後続かごがその階に停止しない場合を上限  $E_{max}$  とするので、

$$E_{max} = (n-2)(1-P)P = (n-2)\left(1 - \left(\frac{n-2}{n-1}\right)^r\right)\left(\frac{n-2}{n-1}\right)^r \quad (2)$$

となる。式(2)において、 $(n-2)/(n-1) < 1$  であるから、これを  $r$  乗すると  $E_{max}$  は小さくなる。従って、乗りかごの乗車人数が多いほど追い越しの発生する回数は低くなり、階床数が多くなるほど追い越しの発生する回数が高くなることになる。

数値例として、サービス階床  $n$  を 10, 15, 20, 40 階、乗車入数  $r$  を 20, 30, 50, 100 人とした場合に、端階までの走行で追い越しが必要となる回数の上限を表 2 に示す。

表 2 より、大量輸送を目的としてマルチカーの定員を路線バス程度の 50 人、100 人とした場合には、サービス階床が 20 階でも追い越しはほとんど必要ないことがわかる。また、現状のエレベータ利用に近い定員 20 人、サービス階 15 階の場合で追い越しが必要となるのは 2.28 回である。

上記では、追い越しの損失時間が 0 秒として検討しているが、実際には、追い越しに伴う退避や追突防止のためある程度時間が必要である。また、追い越しを任意の階で行うには、上昇・下降のほかに追い越し用のシャフトが 1 本以上必要になる。このことから省スペース大量輸送の点では、追い越しの必要性は低い。この結果は鉄道輸送において、多くの地下鉄が追い越しのない複線での往復運行で大量の乗客輸送を行っていること、特定駅での普通列車の退避による急行列車の追い越しの目的が遠隔地への到達時間短縮にあることと対応させることができる。

また、マルチカーシステムで追い越しを行わない場合には、乗り人数や交通需要の不均衡等により乗りかごの配置が偏る、いわゆる「だんご運転状態」になりやすいという問題点がある。しかしこの点に関しては、4 章で提案するマルチカー用の運行制御方式により改善が可能である。

このように、大量輸送を目的とする場合には追い越しは必要ないと考えられる。そこで以下の章では、追い越しを行わない循環型エレベータを対象に検討を進める。

表 2. 追い越し回数の上限  
Table 2. Upper limit of average passing numbers.

		サービス階床数			
		10	15	20	40
乗車入数	20	0.69	2.28	4.03	9.16
	30	0.23	1.25	2.85	9.44
	50	0.02	0.31	1.12	7.54
	100	0.00	0.01	0.08	2.62

### 3. 循環型エレベータの輸送能力

#### 3.1 循環型エレベータの機構の概略

検討対象とする独立駆動型の循環型エレベータの概略を図 1 に示す。循環型エレベータは、上部と下部に方向転換用の機械室を持ち、サービスは昇降揚程の間で行う。左右一対のループ状の主索はかご台数分設け、それぞれに対応した機械室のプーリを、同様にかご台数分だけ設けたモータにより独立に回転させることにより、乗りかごを駆動する。乗りかごが機械室内を通過するため、モータ他の機器類は乗りかご通路の外部に設置する。乗りかご用の昇降路は上昇用と下降用の 2 シャフト分を必要とする。

ここで、図 1 の機構は独立駆動方式の循環型エレベータの 1 例を示したものであるが、本論文においては具体的な駆動方式/実現機構によらずに、循環型とした場合のマルチカー全般に当てはまる輸送能力と運行制御方式に関する議論を行う。以下、本章では、循環型エレベータの基本的な運行方法を決定し、シミュレーションによりその輸送能力を推定して、循環型エレベータを実現する上で満たすべき条件を提示する。

#### 3.2 循環型エレベータの基本運行制御

循環型エレベータは、共通のシャフトに独立駆動の乗りかごが複数走行する。そのため、運行制御により追突を防止する必要がある。循環型エレベータの各乗りかごの制御方法として基本となる考え方を次の 5 点とした。

1. 各乗りかごの位置、速度等の情報は、通常エレベータと同様に、必要な精度で検出可能とする。
2. 追突防止のために、各かごの間は必ず所定距離以上の間隔を保持する。この間隔は、乗りかごの定格速度に応じた停止距離から算出する。
3. 前記の間隔以下に接近しそうなときは、後続の乗りかごが手前のサービス階で停止する（閉そく停止状態）。
4. 閉そく停止時の減速度は通常時と同様  $0.8 \text{ m/s}^2$  とする。

呼び割当てのない乗りかごも、上昇シャフト、上部

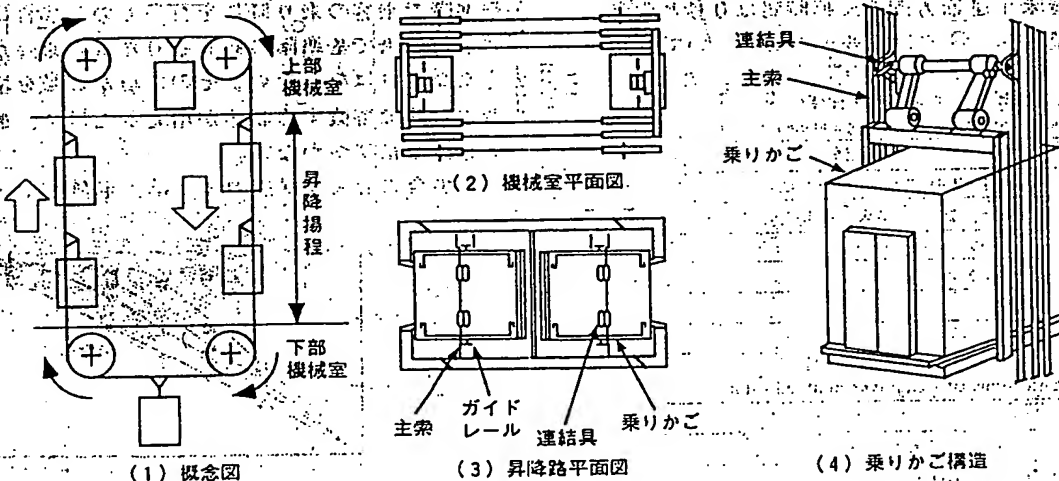


図 1 循環型エレベータの概略  
Fig.1 Overview of a loop-type multi-elevator system

械室、下降シャフト、下部機械室の順で循環させる。

以上の前提を基に計算機上にシミュレータを作成し、各乗りかごが追突せずに運行可能であることを確認した。以下の検討は、このシミュレータによるものである。

### 3.3 循環型エレベータの輸送能力

循環型エレベータを実現させるためには、乗りかご数や速度、機械室内での方向反転に要する時間等の項目に対し、通常エレベータと比較して単位面積あたりの輸送能力で優位となる範囲を検討する必要がある。そこで以下の条件により、循環型エレベータの輸送能力の検討を行った。

ここで、最大輸送能力は「単位時間内(30分)に、基準階から各階へ輸送した人数」とする。これは、出勤時に輸送できる限界人数に相当し、通常エレベータの台数を決定する際の条件に近いものである。そのためシミュレーションでは、基準階から各階へ均等の割合で向かう無限大の人数の乗客を発生させ、通常エレベータと循環型エレベータでどれだけ運べたか、輸送人数を比較した。

基本となるビル・エレベータの仕様を表3に、循環型エレベータの仕様を表4に示す。表において(\*)で示した項目は、シミュレーション検討でパラメータとしたものである。また、速度はサービスする階床数10、15、20、40階床に応じて順に90、150、180、540m/分と設定した。

通常エレベータにおいて、台数とサービス階床数を変更した場合の最大輸送能力を図2に示す。

通常エレベータでは、最大輸送能力は台数に比例する。また、階床数が多くなるほどエレベータが上下一周するのに要する一周時間が長くなるため輸送能力は低下する。

図2に示したグラフの実験式は、最大輸送能力を $T$ 、階床数を $n$ 、定員を $r$ 、エレベータ台数を $k$ とした次式(3)である。

$$T = \left( \frac{67.5}{n} + 5 \right) \times r \times k \quad (3)$$

これに対し、循環型エレベータとして理論上の最大輸送能力を求めるため、最初のシミュレーションでは乗りかご間の最低間隔を1階床、運転方向の反転時間は0秒と設定した。また、循環型エレベータは1ループ分について計算

表3 ビル・エレベータ仕様  
Table 3 Specifications of a building and elevators

項目	仕様
交通需要	出勤時(基準階からの乗車)
階床数*	10, 15, 20, 40階床, 平均3.5mピッチ
速度*	90, 150, 180, 540m/分
かご数*	2~8かご
定員	20人

表4 循環型エレベータの仕様  
Table 4 Specifications of a loop-type multi-elevator

項目	仕様
かご間の間隔*	1~5階床
運転方向反転時間*	0~40秒
制限事項	追い越し禁止, 同一階床複数号機禁止 途中階反転禁止, 機械室内は乗客なし

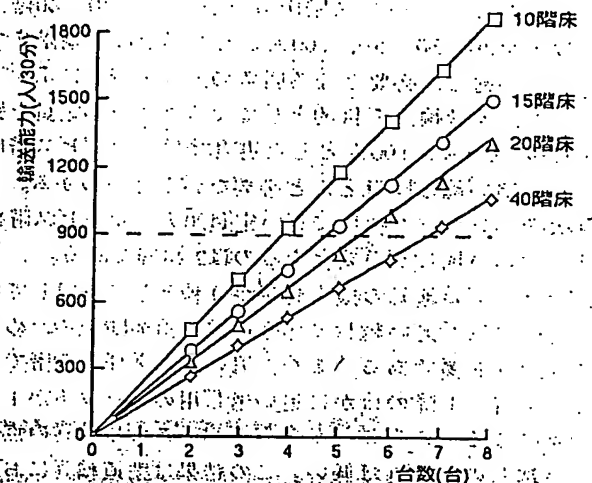


図2 通常エレベータの最大輸送能力  
Fig.2 Maximum transportation capacity of normal elevator system

した。そのため循環型エレベータの必要な占有面積は、通常エレベータの2台分である。シミュレーション結果を図3に示す。循環型エレベータでは、ループ内のかご数に比例して最大輸送能力が増加する領域と、最大輸送能力が飽和する領域がある。かご数、階床数にかかわらず最大輸送能力は約900(人/30分)で飽和しているが、この限界値は通常エレベータ4台(10階床)~6台(20階床)に相当する。これは単位面積あたりに換算して、循環型エレベータでは最大で、通常エレベータの2~3倍の輸送能力が得られる効果があることを示している。

循環型エレベータの最大輸送能力がかご数、階床数にかかわらず飽和する理由は、基準階での乗車にかかる時間がボトルネックとなるためである。

通常エレベータでは、基準階に同時に到着できる台数に制限がないため、複数台のエレベータが他のエレベータに影響されことなく、それぞれ乗客を乗せることができる。そのため乗りかご数を増やすとそれに比例して輸送能力が増加する。一方、循環型エレベータでは、1つの乗りかごが基準階で乗客の乗り降りを行っている場合には、他のかごは手前の階で基準階にある乗りかごの乗降が終了するのを待たなければならない。そのためかご数を増やしても基準階の手前で待機する状態が増えるだけで、最大輸送能力の増加には結びつかない。

この場合の最大輸送能力 $T'$ は、定員を $r$ 、基準階の出

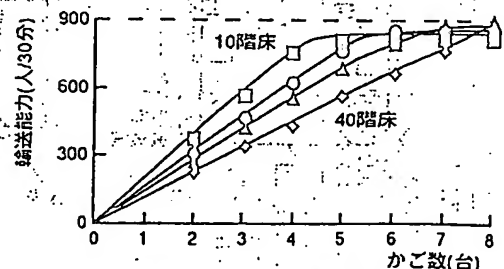


図3 循環型エレベータの最大輸送能力  
Fig.3 Maximum transportation capacity of multiple-cage elevator system

発間隔を  $s$  とすると、次式(4)で表すことができる。

$$\Gamma = \frac{r}{s} \times 1800 \quad (4)$$

循環型エレベータでは、1つのかごが待ち客を乗せて基準階を出発した後、かご間の最低間隔以上離れてようやく次のかごが基準階にサービスできる。そのため実験の条件では、乗降と戸開閉に30秒、移動に10秒と最低でも40秒間隔でしか運行できない。そのため式(4)より、900(人/30分)が最大となる。

以上のように、循環型エレベータでは、基準階の出発間隔が、最大輸送能力を決定する。このことは、出勤時のような発散需要と同様に、昼食前半時や退勤時等の同一階へ集まる集中需要の場合にも当てはまる。

この最大輸送能力の飽和点は、単位面積あたりの輸送能力で通常エレベータの2～3倍にあたるため、それ自体循環型エレベータの有効性を否定するものではない。この解析の結論は、階床数に応じて循環型エレベータにとって最も有効な乗りかご数が明らかになった点にある。

また、さらに単位面積あたりの輸送能力が必要な場合には、図1の下部機械室を2台並列停止可能な基準階とした(この場合は横方向の移動時にも乗車することになる)、高層階行きと低層階行きで基準階を複数の階に分割し、上下で別の乗りかごに同時に乗車する(8)などの工夫により、必要とする面積を増やさずに改善することが可能である。

次に、乗りかご間の間隔、運転方向反転時間がどの範囲内であれば占有面積を低減できるかについて検討する。

循環型エレベータは、移動機構を含めると2台+ $\alpha$ の面積が必要と考えられるため、通常エレベータ3台相当の輸送能力以上で占有面積低減に対する効果が出始める。

サービス階床数を15階、乗りかご数を6、かごとした場合の、最大輸送能力に対するかご間隔、運転方向反転時間の影響を図4に示す。この場合の占有面積低減の効果が得られるライン(570人/30分)を图中に示す。また、単位面積あたりの輸送能力が通常エレベータの2倍に相当するライン(760人/30分)を併せて图中に示す。この2倍のラインを超

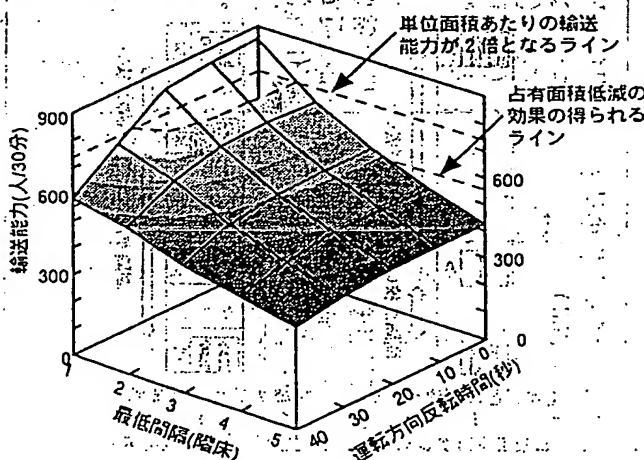


図4- かご間の間隔・運転方向反転時間の影響  
Fig.4 Effect of car interval and direction changing time

える輸送能力を達成できれば、循環型エレベータの実用化により大きな効果が得られる。

図4より、循環型エレベータで占有面積低減の効果が得られる条件は、「乗りかごの間隔1階床以内で運転方向反転時間40秒以内、間隔2階床以内で反転時間30秒以内、または間隔3階床以内で反転時間20秒以内」のいずれかを達成することが必要であり、その条件の基で1つのループに6つ以上乗りかごを配置することが必要である。また、循環型エレベータで単位面積あたりの輸送能力が通常エレベータの2倍となる条件は、「乗りかごの間隔1階床以内、運転方向反転時間20秒以内」である。

乗りかごの間隔は機構の干渉と衝突防止に必要な距離とで決定される。図1(4)の連結具を想定した場合には、例えば定格速度を90m/分と通常のエレベータより低く設定することにより、間隔1階床(3.5m)以内の実現が可能となる。また高層のビルにおいてサービス階の範囲内にシャトルゾーンを持つ場合には、定格速度は階床数により決定し、サービス階が連続するローカルゾーンでは、その最低間隔が1階床となるように規制する必要がある。

一方、運転方向反転時間は横行距離、横行速度と、走行方向転換に関するムダ時間で決定されるが、安全を考慮すると20秒は限界に近いが不可能ではない値と考えられる。

### 3.4 循環型エレベータの適用対象

以上の結果より、循環型エレベータの適用対象についてまとめる。一例として、15階床単位で1つのバンクを構成する60階床のビルにおけるエレベータ配置を取り上げる。比較の対象は(a)通常エレベータ、(b)シャトルエレベータによるスカイロビー方式、(c)循環型エレベータとする。それぞれの輸送能力を基に出勤時に同一の乗客を輸送できる配置の例を図5に示す。

(a)通常エレベータでは、高層バンク側のエレベータシャフトが途中階で多くの床面積を占める。(b)シャトル方式では、シャトルエレベータからローカルエレベータへの乗り換えが必要になるが、シャトル部分の面積を1/2にすることが可能である。しかしローカルバンク部分の面積(a)と変わらない。(c)循環型エレベータは、通常エレベータの単位面積あたり約2倍の輸送能力により占有面積を1/2減することができる。その結果、循環型エレベータが最も省スペース化の効果が高い。

同一の条件で、階床数を変えた場合の有効面積に対する

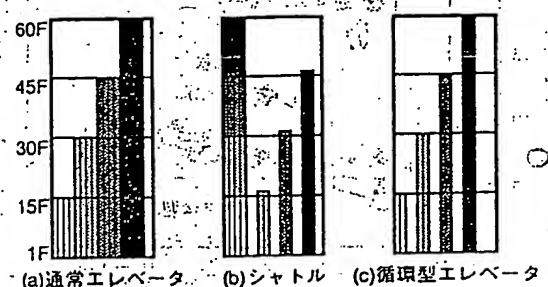


図5- 同一輸送能力となるエレベータの配置例  
Fig.5 Example arrangements of elevator systems

昇降路面積の比率を図6に示す。ここではエレベータホールを含めた必要面積を昇降路面積の6倍として算出した。

この時、循環型エレベータは、第1に、シャトル方式で改善できない15階床クラスのビルで、占有面積を通常エレベータの約半分にできる効果を期待できる。また、階床数が多くなるほどシャトル方式との差が少なくなるが、図5の例で説明したように、シャトル方式におけるローカルバンク部分には占有面積低減の余地がある。よって、第2の対象としては、大規模ビルでのシャトル方式と組み合わせたローカルバンク部分への適用が挙げられる。この15階床クラスのビル、大規模ビルのローカルバンク部分では、定格速度が低くて良いことから閉そく間隔も短くでき、前述の乗りかご間隔に関する条件も満たすことが容易になる。

以上のように循環型エレベータは3.3節で提示した条件を満たす方式が開発できれば通常エレベータに対して単位面積あたり2倍の輸送能力を実現可能となる。この循環型エレベータが最も効果を発揮できるのは、現在のビルの大半を占める15階床クラスのビルまたはシャトル方式と組み合わせた大規模ビルのローカルバンク部分への適用である。

#### 4. 循環型エレベータの運行制御方式

##### 4.1 循環型エレベータに対応した運行制御方式

3章までの検討で輸送能力の観点から、循環型エレベータに必要な仕様、有効な適用対象が決定できた。しかし、循環型エレベータの実現のためには輸送能力だけではなく、その特徴に応じた運行制御方式の検討が不可欠である。

運行制御の面から見た場合、循環型エレベータが通常エレベータと異なる点は、(1)前方のかごが停止している影響で進行できない「閉そく停止」状態があること、(2)方向反転に要する時間のため上下1往復するための一周時間が長くなること、(3)追い越しや途中反転ができないためにいわゆる「だんご運転状態」になりやすく、その解消が難しいことである。効率の良い運行制御を実現するためには、これら3点の影響を最小限にすることが必要である。

この閉そく停止、だんご運転状態に関する評価としては、図7に示すかご位置の偏りによる評価項目が最も効果的である。本評価項目は、前走かごとの間隔が広い場合には停止を抑制するように評価し、逆に後続かごとの間隔が広い場合にはサービスしやすくする。これにより、だんご

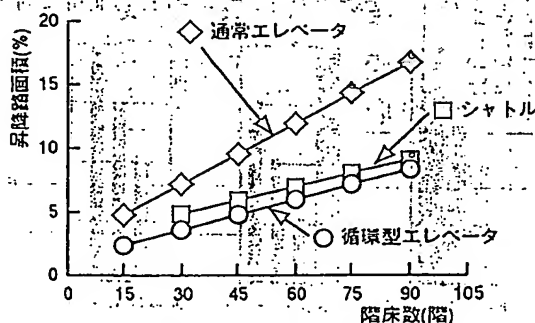


図6 有効面積に対する昇降路面積の比率  
Fig.6 Elevator shaft space ratio in large-scale buildings

運転を防止し、またかごが接近しすぎることを抑制するため閉そく状態の発生も低減させることができる、循環型エレベータの運行制御のキーポイントとなる評価項である。

この(1)かご位置の偏りの他、循環型エレベータ用の運行制御で評価する主な項目としては、(2)降り階、(3)閉そく停止階、(4)満員、(5)待ち時間の長短、(6)かご内荷重の差、(7)前走乗りかごに通過された待ち客、がある。ここで、(2)、(3)、(4)はその評価のみで停止/通過が決定される項目、残りの4項目は互いの評価値の大小によりサービスが決定される相対的な項目である。以上の各項目を各乗りかご毎に、図8に示す手順により考慮する制御方式を立案した。

提案の運行制御方式では、乗りかごごとに次に停止可能な階の待ち客の有無を調べ、待ち客のいる階に対してはまず(2)~(4)の項目で停止/通過を判定する。(2)~(4)の条件が成立しない場合には、待ち時間やかご位置の偏りといった(1)、(5)~(7)の評価項目により評価値eValueを算出し、その値によりサービスの可否を決定する。ここでw1, w5, w6, w7は重み係数、かご内荷重評価の規定荷重は制御パラメータの1種であり、以下のシミュレーション検討では、予備実験により交通流に適した値を設定した。

##### 4.2 運行制御方式のシミュレーション条件

立案した運行制御の効果は、シミュレーションにより検討した。ビル、循環型エレベータの仕様を表5に示す。

対象とした交通流は、通常エレベータ4台の平均的な交通需要のビルにおける、出勤、平常、昼食時の実測交通流データを用いた。

以下のシミュレーションでは、3.3節にて示した占有面積低減効果の得られる条件を基に、乗りかごの最小間隔を1階床、運転方向反転時間を30秒と設定した。この条件は、単位面積あたりの輸送能力が通常エレベータの約1.8倍である。またエレベータの定員は、実測したビルの仕様に合わせて24人とした。

また循環型エレベータの制御方式の比較対象としては、単純に各乗りかごが待ち客のいる階は必ず停止する「全呼」

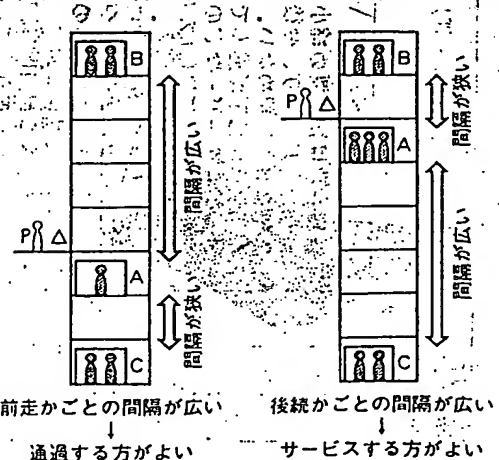


図7 乗りかごの位置の偏りによる評価  
Fig.7 Evaluation for car positions

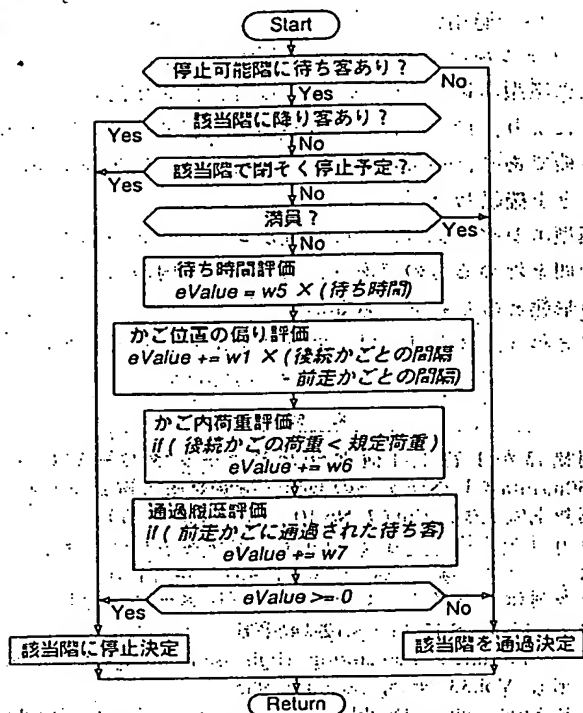


図8 マルチカー用運行制御の評価方式

Fig.8. Operation evaluation method for multiple-cage elevators

表5 ビル・循環型エレベータ仕様  
Table 5. Specifications of a building and a loop-type multi-elevator

項目	仕様
階床数	15階床(B1,1~14F) 平均4.2mピッチ
特殊階	基準階:1階、食堂階:3階
かご数	6かご
速度	90m/分(かご間の最小間隔1階床)
方向反転時間	30秒
定員	24人
交通需要	出勤時(Up:475人/30分、Down:55人/30分) 平常時(Up:175人/30分、Down:165人/30分) 昼食時(Up:300人/30分、Down:470人/30分)

停止制御」(2)各乗りかご間の最適間隔をサービス階が均等になるように設定する「強制等間隔制御」を、全般的なサービス性能の比較対象として通常エレベータ3台、4台での制御結果を用いた。

#### 4.3 平常時におけるシミュレーション結果と考察

初めに、運行制御の良否が最も表れる平常時の交通流におけるシミュレーション結果に関して検討する。

平常時におけるシミュレーション後半20分の運行状態を図9に示す。図9で、横軸は時刻を縦軸は階床位置を示し、グラフの6本の線が各乗りかごの位置を表している。

(1)全呼び停止制御で運行を続けると、基準階から多数の待ち客が乗り込んだ乗りかごは停止回数が多くなり、後続の乗りかごが追いつきやすくなる。その結果、図のようなだんご運転状態になる場合が多くなり、また追い越しや途中反転ができないため、その解消が困難になる。(2)強制等間隔制御では、だんご運転はなくなり、到着間隔の均等化がはかれる。しかし、前走かごに追いつかないように後続かごを停止させる方式であるため、一周時間が長くなる。図中に太線

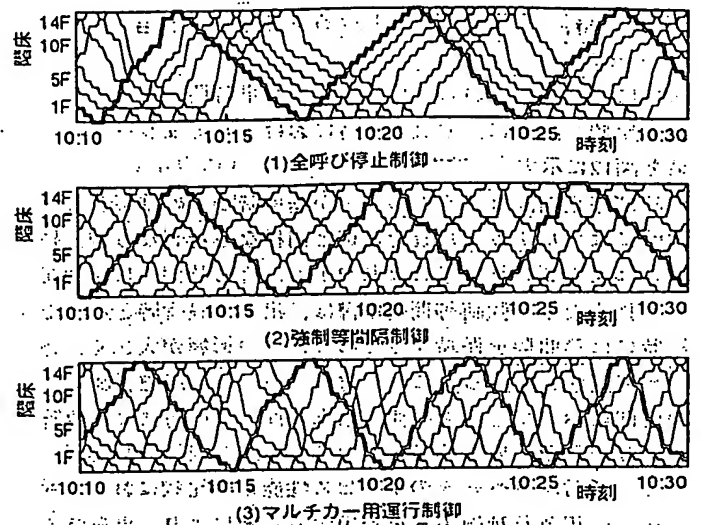


図9 運行状態の比較(平常時20分間)

Fig.9 Comparison of operation status (20 minutes at balance traffic)

で示した乗りかごの運行を基に比較すると、(1)、(2)とも10分間で3周しかできない。

これに対し、立案した(3)マルチカー用運行制御では、かごの配置を偏らせないように運行制御するため、だんご運転になることがなく、また、通過を用いることにより強制等間隔制御のように停止回数を増加させないため、一周時間を短くできる。この方式では同じ20分間で、他の制御方法より1周多く4周周回している。この時の待ち時間と乗車時間、閉そく停止回数の比較を図10に示す。

図10から、立案したマルチカー用運行制御は、平均待ち時間で強制等間隔制御と同程度、また乗車時間に関しては閉そく停止を大幅に低減した結果20%以上改善している。また、循環型エレベータ特有の閉そく停止回数も1周で約3.回に抑制可能である。また、通常エレベータのサービス性能との比較でも、マルチカー用運行制御を適用した場合には待ち時間で通常エレベータ4台と同程度、待ち時間と乗車時間を合計したサービス完了時間でも通常エレベータ3台より良好である。このように、提案のマルチカー用運行制御方式を適用することにより、だんご運転の抑制、一周時間の短縮、待ち時間、乗車時間の改善といった効果が実現可能であり、通常エレベータに近いサービス性能を得ることができる。

また、今回検討した平常時の交通流では中間階間の利用が多い。平均走行階床数の短い循環型エレベータは、このような「階段代わり」の利用に適した特性を持つといえる。

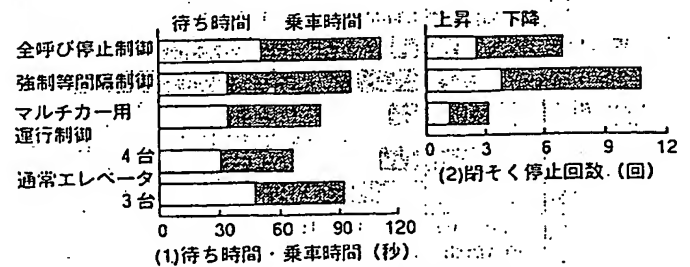


図10 シミュレーション結果(平常時)

Fig.10 Simulation results (balance traffic)

#### 4.4 出勤時・昼食前半時におけるシミュレーション結果と考察

同様に、出勤時における待ち時間と乗車時間、閉そく停止回数の比較を図11に、昼食前半時におけるシミュレーション結果を図12に示す。

全呼び停止制御は、乗客の大半が基準階からの乗車となる出勤時にはマルチカー用運行制御と同様な運行となるが、昼食時にはだんご運転状態になりやすく、待ち時間、乗車時間ともに長くなる。強制等間隔制御は、出勤・昼食時といった混雑時には等間隔を保持するための停止の影響が大きく、特に乗車時間が長くなる。これに対しマルチカー用運行制御は、どの時間においても待ち時間、乗車時間を他の方式より改善しており、閉そく停止回数においても1周3回以内を実現している。通常エレベータのサービス性能との比較においてもマルチカー用運行制御方式を適用することにより、出勤時で通常エレベータ4台より乗車時間は長くなっているが3台の結果より良好であり、昼食時には通常エレベータ4台のサービス性能には近い運行状態にできることが確認された。

以上のように、循環型エレベータに適した運行制御を適用することにより、どの時間帯においても待ち時間、乗車時間で通常エレベータに近いサービス性能を達成可能である。この結果は、単位面積あたりの輸送能力を通常エレベータの約2倍にできる利点と、1周で約3回の閉そく停止のデメリットとのトレードオフを考え合わせた場合に、今後の循環型エレベータの有望性を示すものといえる。

#### 5 まとめ

ビル内の有効利用面積向上という観点から大量輸送に適した昇降機システムとして、循環型エレベータの輸送能力と運行制御方式について基礎検討した。循環型エレベータを実現する場合に、昇降路面積を通常エレベータの半分に低減できるための条件を示した。循環型エレベータは、15階床クラ

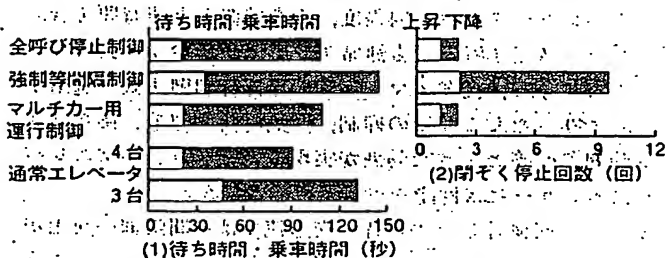


図11 シミュレーション結果 (出勤時)

Fig.11 Simulation results (up-peak traffic)

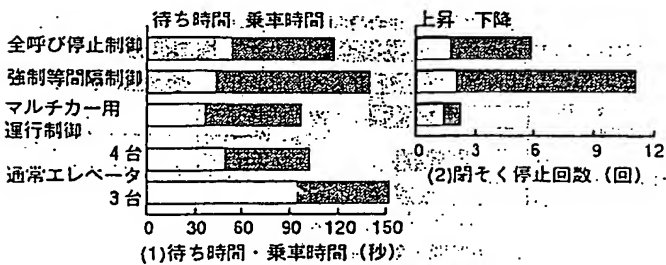


図12 シミュレーション結果 (昼食時)

Fig.12 Simulation results (lunch time traffic)

スのビルへの適用、シャトル方式と組み合わせた超々高層ビルのローカルバンク部分への適用で有効である。

また循環型エレベータの高効率な運行制御を提案した。この方式により、待ち時間、一周時間の改善とだんご運転の抑制が可能であり、通常エレベータに近いサービス性能が得られることを確認した。

循環型エレベータは、その特性がエレベータとエスカレータの中間を埋めるものであり、将来のビル内輸送システムの第3の形態として有望である。

(平成8年5月31日受付、平成9年3月21日再受付)

#### 文 献

- (1) 棚橋ほか4名：「横浜ランドマークタワー向け速度750m/minエレベーターの振動・騒音対策と電気システム」, 三菱電機技報, Vol.67, No.10, 939~948(平5)
- (2) 重田ほか3名：「速度810m/min超高速エレベーターの開発」, 日立評論, Vol.75, No.7, 437~442(平5)
- (3) 喜多村ほか6名：「ロープレスエレベータ構想」, 電学全集, S.12-4, S.12-11~S.12-14(平5)
- (4) J. W. Fortune: "Elevating High-rise Buildings", Elevator World, Vol.33, No.5, 36~42(1985)
- (5) G. R. Strakosch: "Double-deck Elevators", Elevator World, Vol.38, No.7, 50~53(1990)
- (6) 中里ほか4名：「ロープレスエレベータへのリニアモータ適用の検討」, 電学全集, S.12-5, S.12-15~S.12-18(平5)
- (7) 関口：「リニアモータによる垂直輸送システム」, 日本鉄鋼協会第25回白石記念講座, 53~68(平5)
- (8) 宮武ほか2名：「輸送効率向上のための自走式鉛直輸送システムの運用法」, 鉄道技術連合シンポジウム, 123, 439~442(平7)
- (9) 植田ほか5名：「リニア同期モータを用いたロープレスエレベータの制御法の検討」, 電学全集, 1077, 5-118(平8)

藤野 篤哉 (正員) 1964年5月3日生まれ。昭和62年北海道大学工学部電子工学科卒業、同年(株)日立製作所日立研究所入社。現在日立製作所水戸工場エレベータ開発センタに所属、エレベータ関連の研究開発に従事。



飛田 敏光 (正員) 1958年9月23日生まれ。昭和58年千葉大学大学院工学研究科機械工学第二学科修了、同年(株)日立製作所日立研究所入社。現在日立製作所水戸工場エレベータ開発センタに所属、エレベータ関連の研究開発に従事。



中川 久美子 (非会員) 1970年8月9日生まれ。平成5年慶應義塾大学計測工学科卒業、同年清水建設(株)入社、電気設備関連の開発に従事、現在、光環境関連の研究開発を担当、宇都宮大学大学院工学研究科博士後期課程在学中。日本建築学会、照明学会会員。

